



Магнитное поле в вакууме

Лекция 3

План лекции

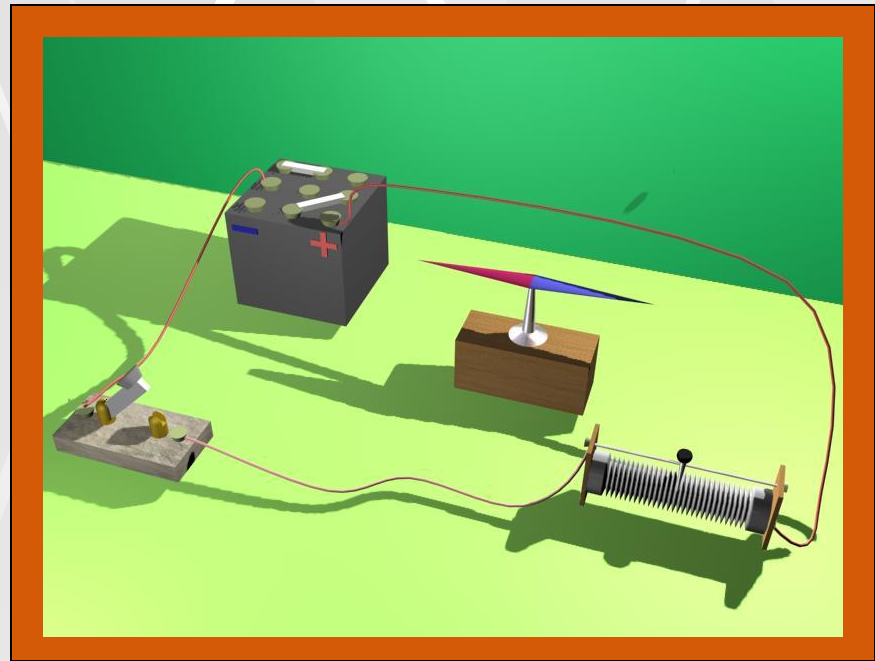
- **Магнитное поле.**
- **Магнитный момент контура с током.**
- **Вектор магнитной индукции. Линии магнитной индукции.**
- **Сила, действующая на проводник с током в магнитном поле. Закон Ампера.**
- **Действие магнитного поля на движущийся заряд. Сила Лоренца.**

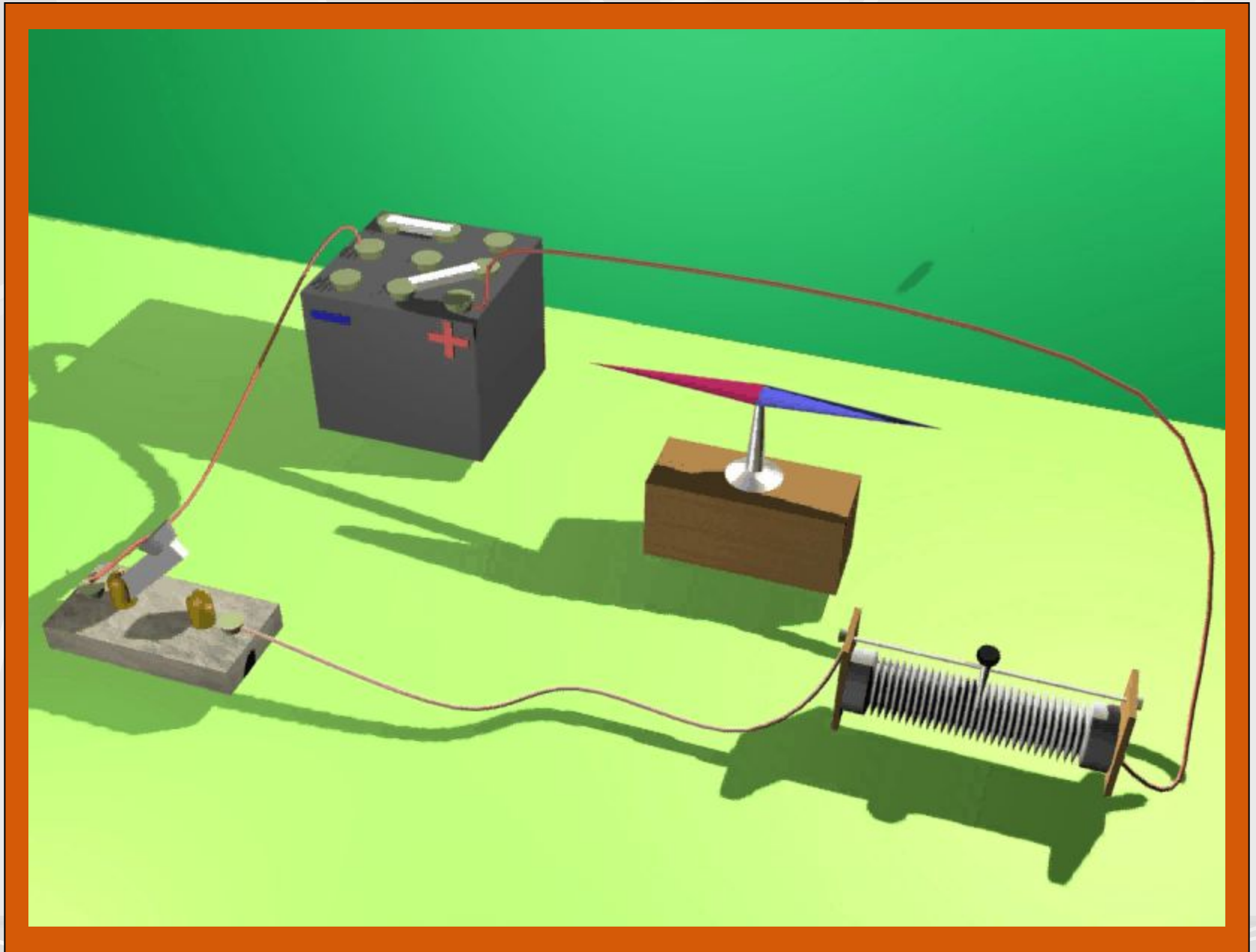
В 1820 г. датский физик Эрстед обнаружил, что магнитная стрелка поворачивается при пропускании электрического тока через проводник, находящийся около нее.



Эрстед Ганс Христиан

14.08.1777 – 09.03.1851

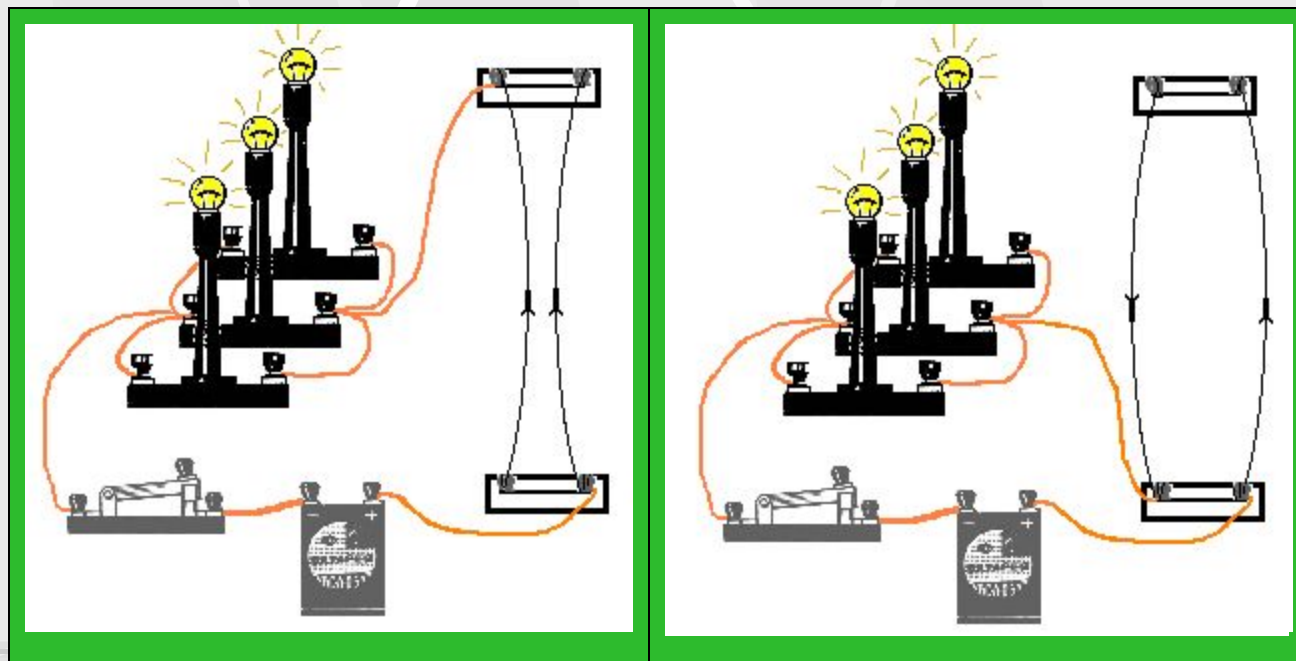




Французский физик **Ампер** установил, что два проводника, расположенные параллельно друг другу, испытывают взаимное притяжение, если ток течет по ним в одну сторону, и отталкивание, если токи текут в разные стороны.



Ампер Андре-Мари
10.01.1775 – 10.06.1836



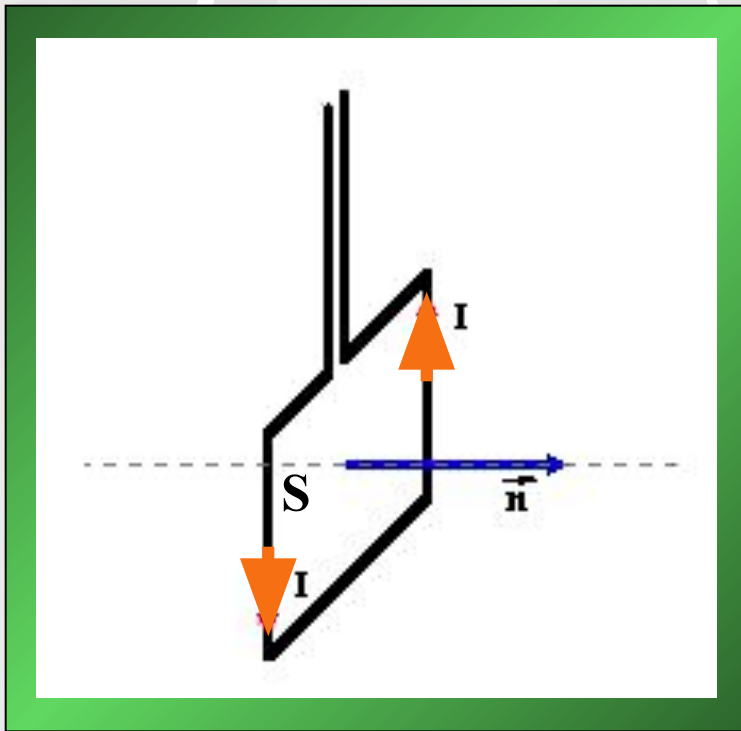
Магнитное поле — особый вид материи, посредством которого осуществляется взаимодействие между движущимися электрически заряженными частицами.

Основные свойства МАГНИТНОГО ПОЛЯ

- Магнитное поле порождается электрическим током (**движущимися зарядами**).
- Магнитное поле обнаруживается по действию на электрический ток (**движущиеся заряды**).

Для исследования магнитного поля применим пробный ток, циркулирующий в плоском замкнутом контуре очень малых размеров.

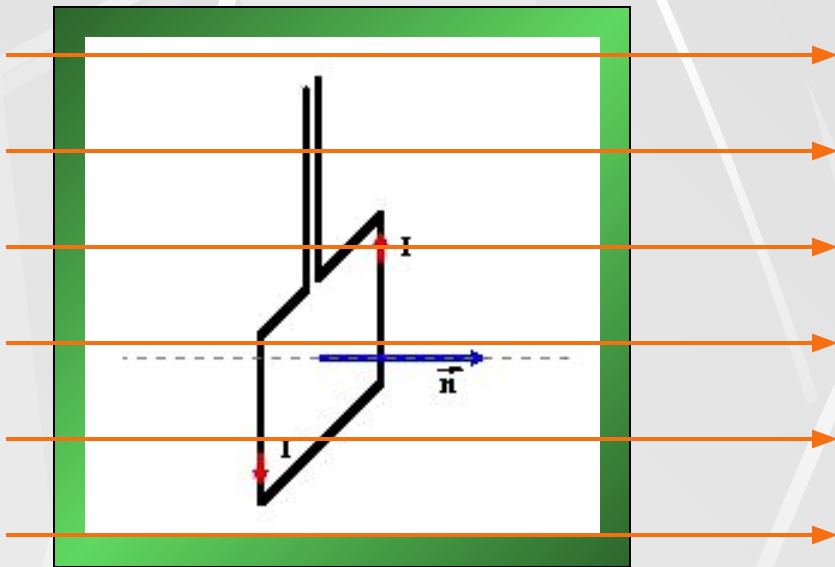
Будем называть такой контур **пробным контуром**.



Ориентацию его в пространстве характеризует направление **нормали** к контуру, восстанавливаемой по правилу **правого винта** (буравчика):

Если вращать рукоятку правого буравчика по направлению тока в контуре, тогда направление его поступательного движения даст направление нормали.

Помещая пробный контур в магнитное поле, обнаружим, что поле стремится повернуть контур (нормаль) в определенном направлении.



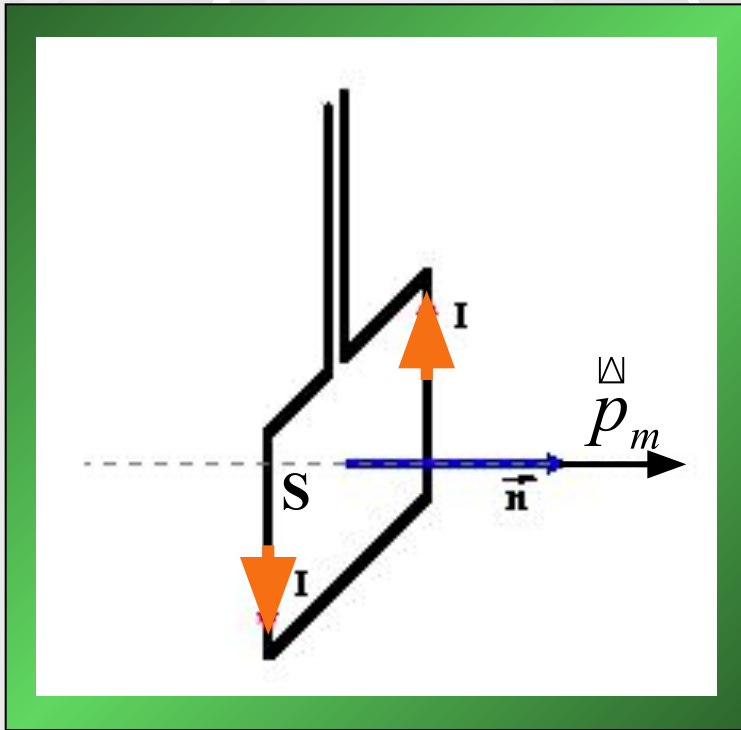
Вращающий момент, действующий на контур, зависит как от свойств магнитного поля в данной точке, так и от свойств контура.

Оказывается, что максимальная величина вращающего момента пропорциональна IS , т.е.: $M_{\text{ма}} \sim IS$

S – площадь контура с током;
 I – сила тока.

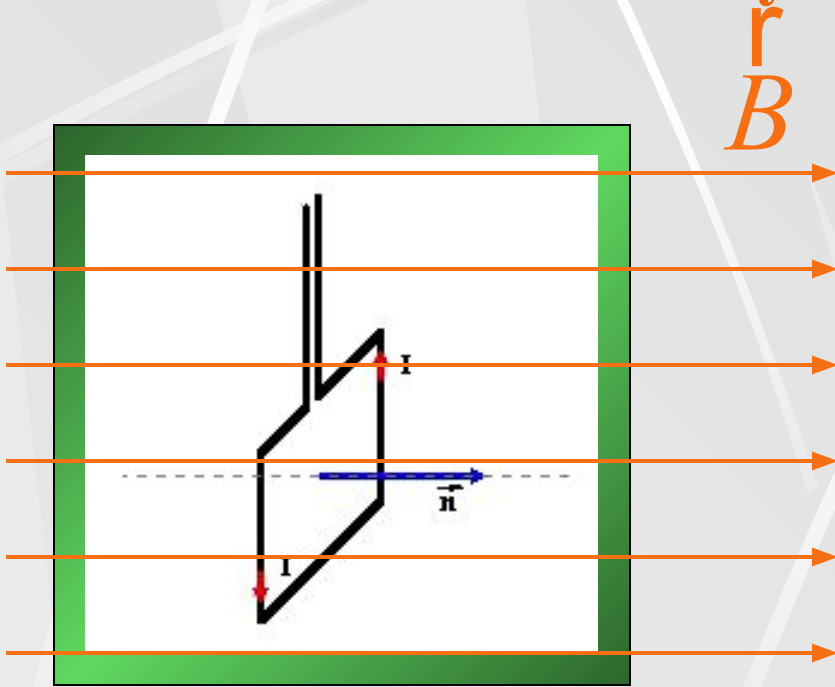
Векторную величину $\vec{p}_m = IS\vec{n}$ называют магнитным моментом контура.

В СИ измеряется в $A \cdot m^2$.



На пробные контуры с разными p_m , помещаемыми в данную точку магнитного поля, будут действовать разные по величине максимальные вращающие моменты M_{max} .

Но отношение M_{\max} / P_m будет для всех контуров одинаково, оно будет являться силовой характеристикой магнитного поля — **магнитной индукцией**.



$$B = \frac{M_{\max}}{P_m}$$

Магнитная индукция есть вектор, направление которого совпадает с направлением нормали контура с током, свободно установившегося во внешнем магнитном поле.

$$1 \text{ Тл} = \frac{1 \text{ Н} \cdot \text{м}}{1 \text{ А} \cdot \text{м}^2} = 1 \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}}$$

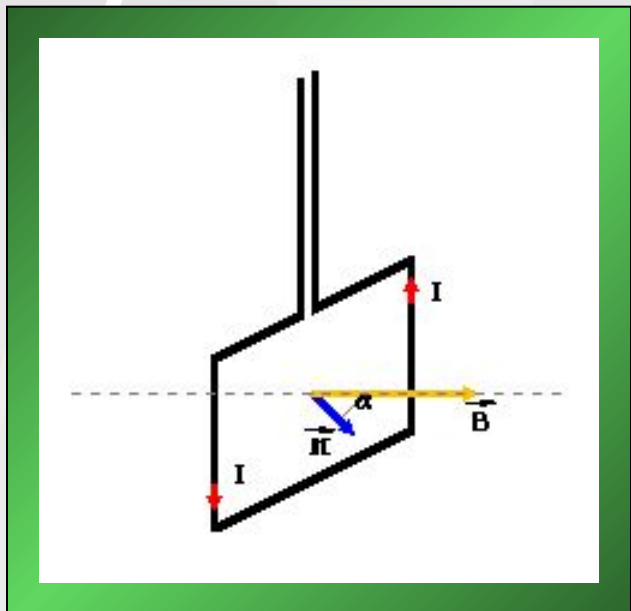
На контур с током, помещенный в магнитное поле с индукцией B , действует **вращающий момент**

$$\vec{M} = \left[\vec{p}_m \vec{B} \right]$$

Величина его $M = p_m B \sin \alpha$

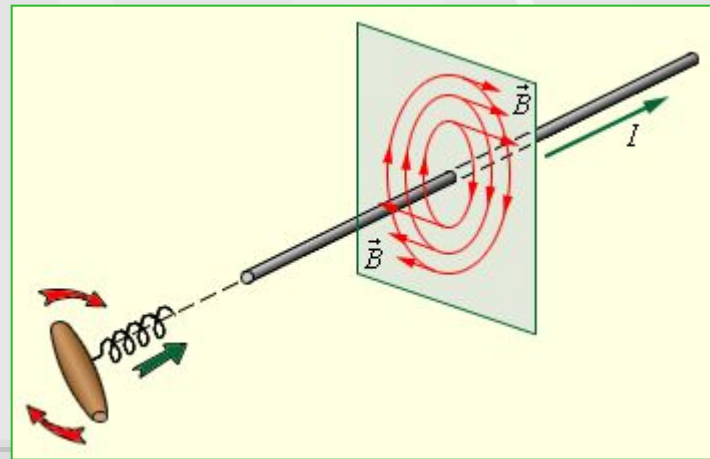
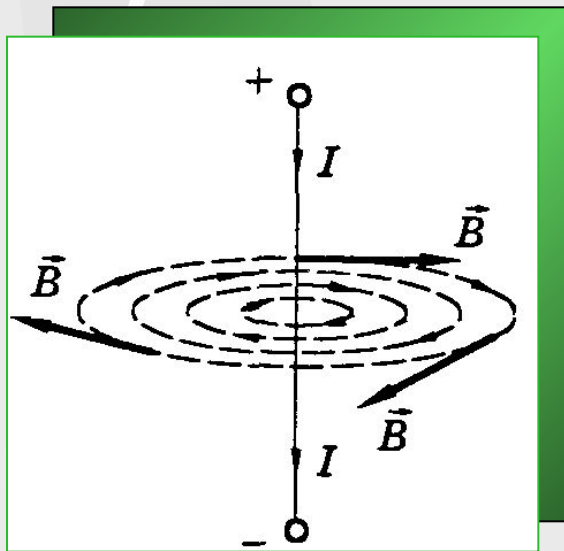
При $\alpha = 90^\circ$ момент $M = M_{\max}$ максимален.

При $\alpha = 0^\circ$ или $\alpha = 180^\circ$ момент $M = 0$.



Силловые линии, или линии магнитной индукции, — это такие линии, касательные к которым направлены так же, как и вектор \vec{B} в данной точке поля.

Их направление определяют по правилу буравчика.



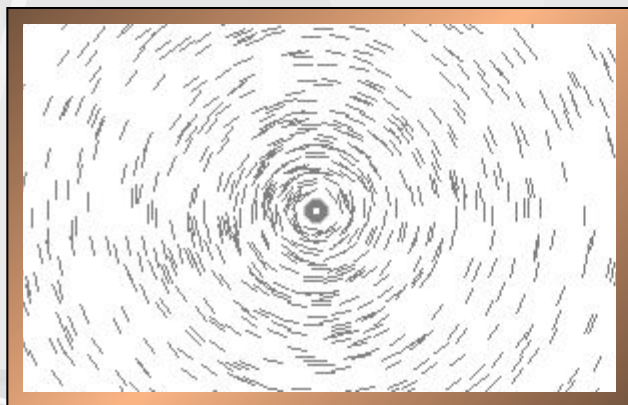
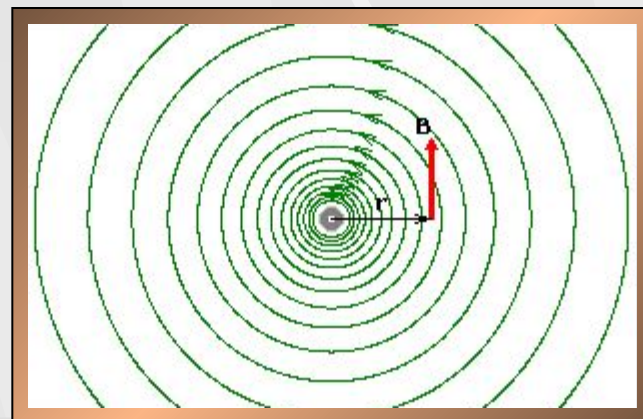
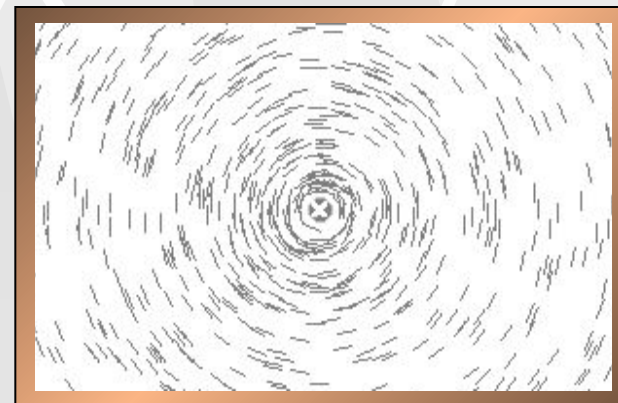
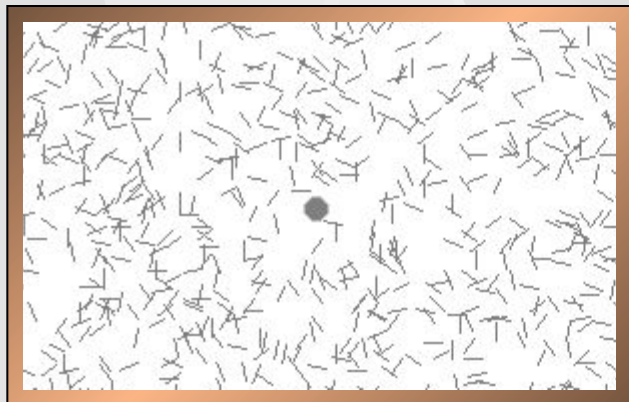


МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ПРЯМОГО ТОКА

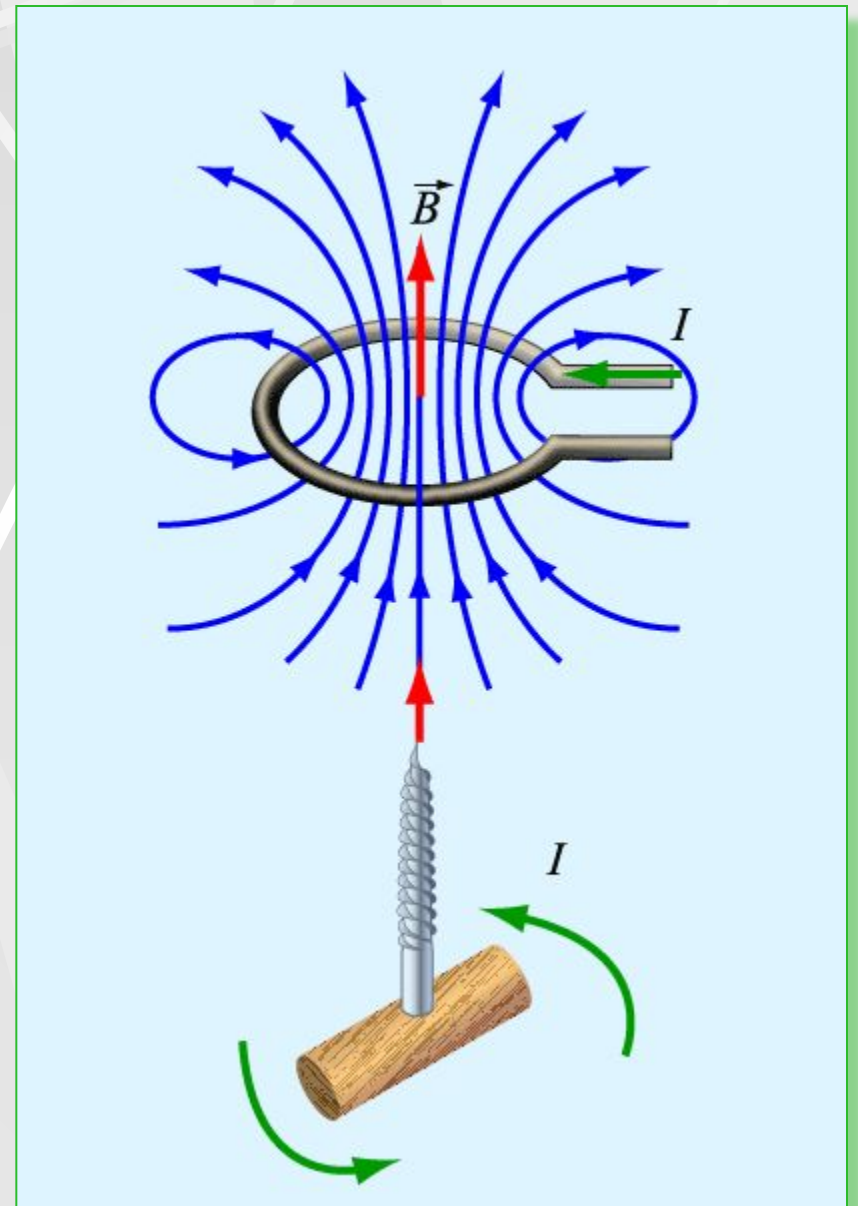
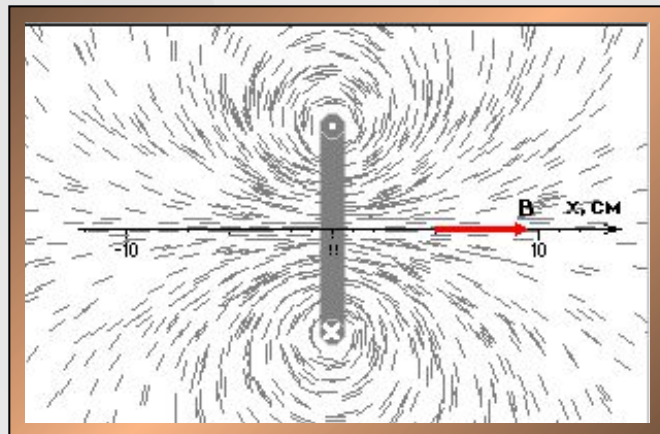
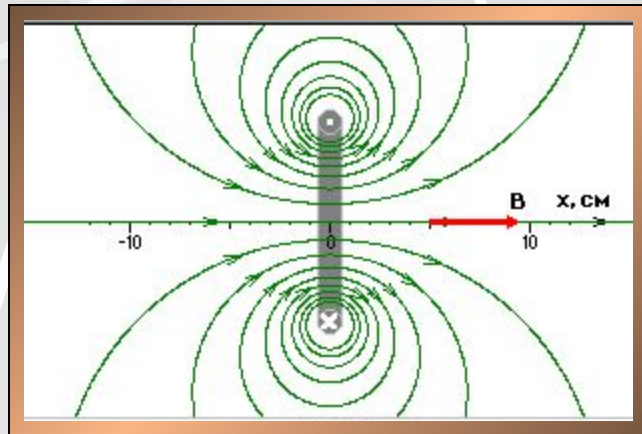
3



Магнитное поле прямолинейного проводника с током



Магнитное поле кругового витка с током



Поле кругового тока неоднородно.



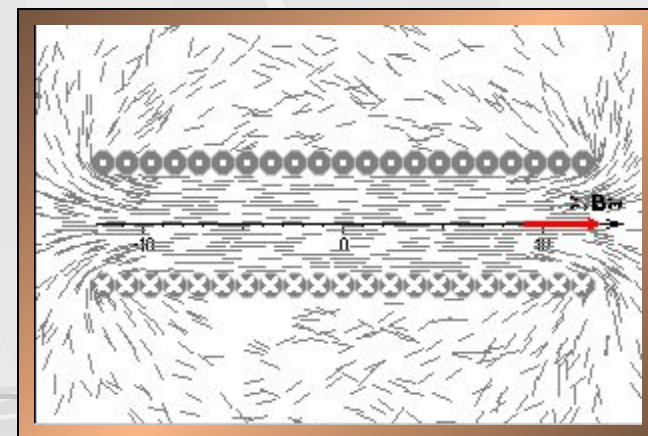
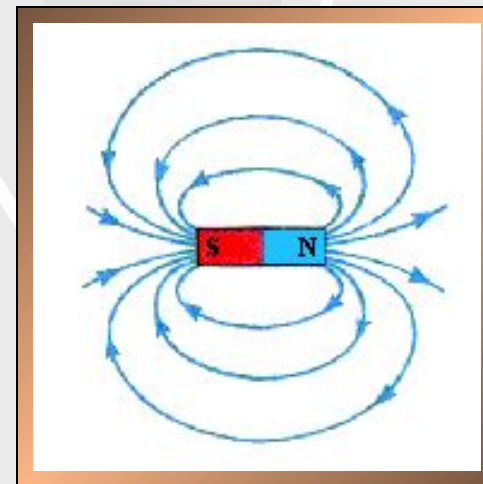
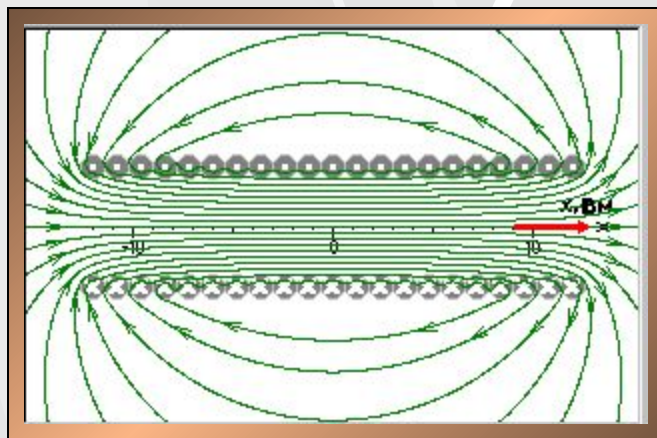
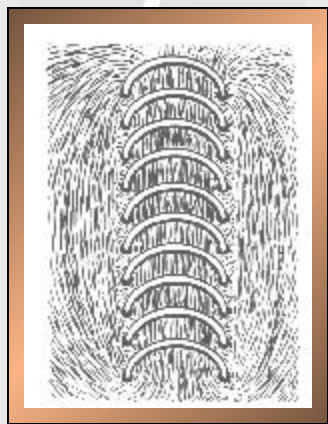
МАГНИТНОЕ ПОЛЕ КРУГОВОГО ТОКА

4



Картина магнитного поля катушки с током (соленоида).

Поле, магнитная индукция которого одинакова во всех точках, называется *однородным*.



Магнитное поле внутри соленоида является *однородным*.



МАГНИТНОЕ ПОЛЕ СОЛЕНОИДА

5



Линии магнитной индукции всегда замкнуты.

Поля с замкнутыми силовыми линиями называют *вихревыми*.

Магнитное поле – *вихревое* поле.

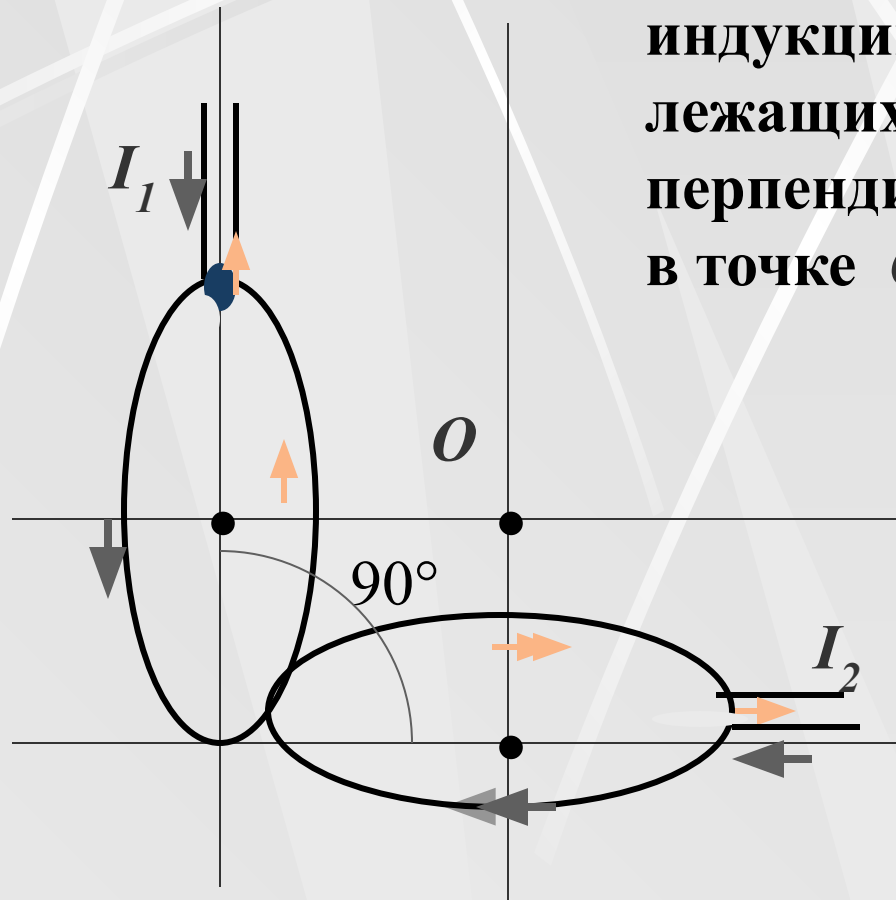
Принцип суперпозиции

Вектор магнитной индукции поля системы токов в некоторой точке равен геометрической сумме векторов индукции полей каждого из токов в отдельности:

$$\vec{B} = \sum_{i=1}^n \vec{B}_i$$

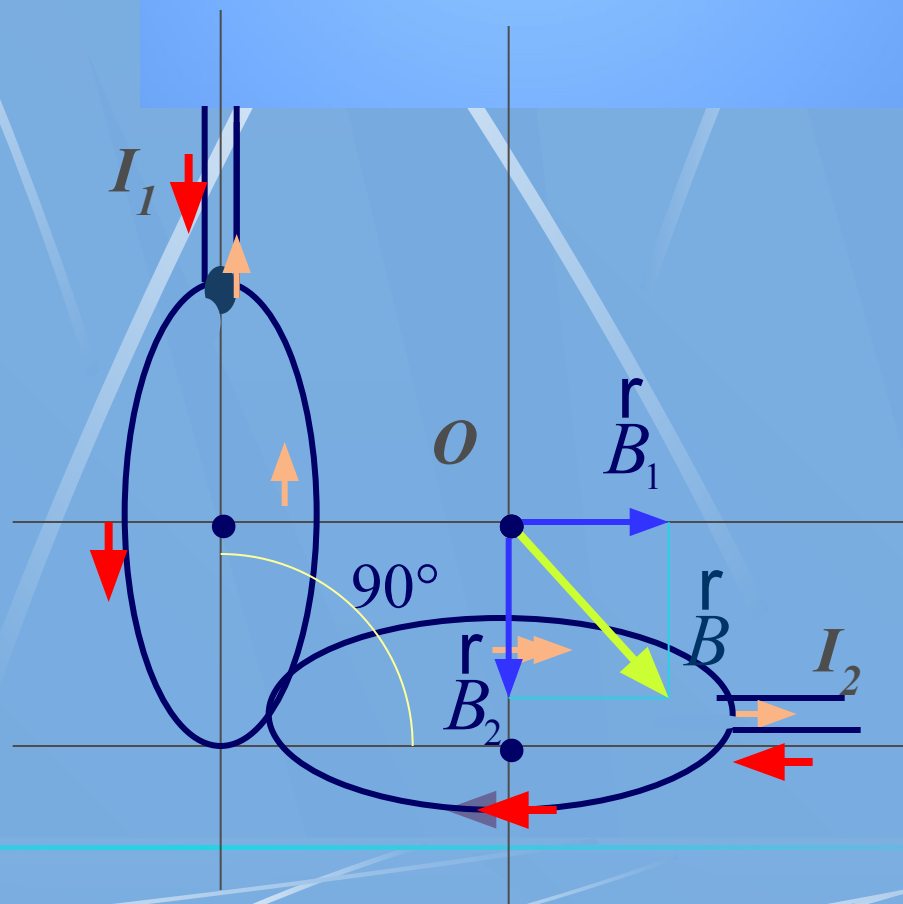
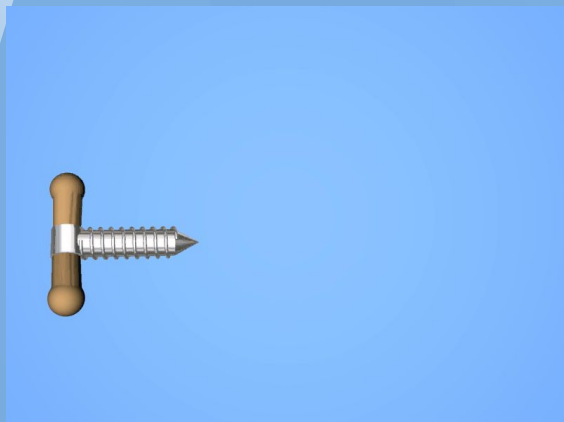
Задание

Изобразите графически направление вектора магнитной индукции двух круговых токов, лежащих во взаимно перпендикулярных плоскостях, в точке O пересечения их осей.



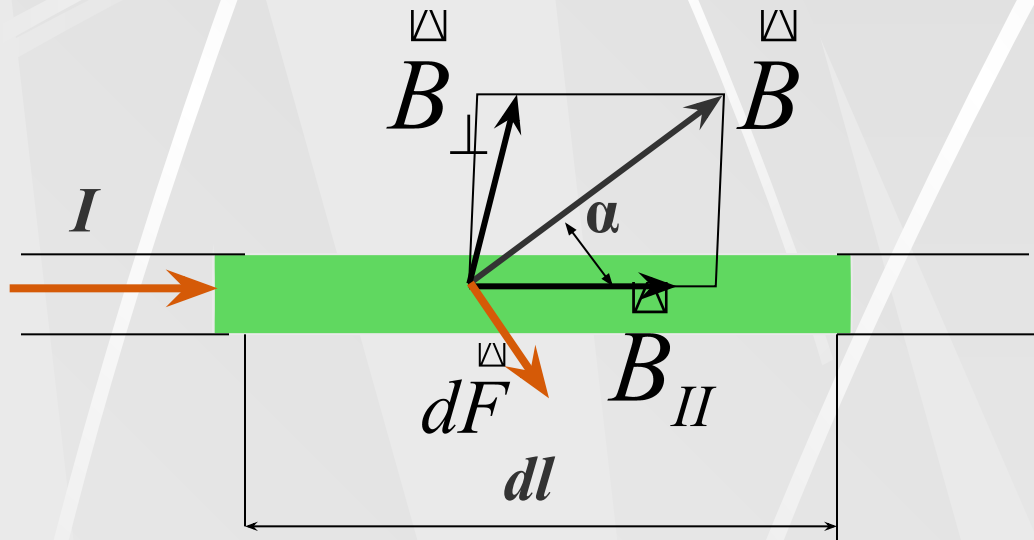
Решение

Определим по правилу буравчика направление векторов магнитной индукции полей, созданных токами.



Как установил Ампер, на элемент тока $I dl$, помещенный в магнитное поле, действует сила.

$$d\vec{F} = I [dl \vec{B}]$$



Ее модуль

$$dF = I B dl \sin \alpha$$

или $dF = I B_{\perp} dl.$

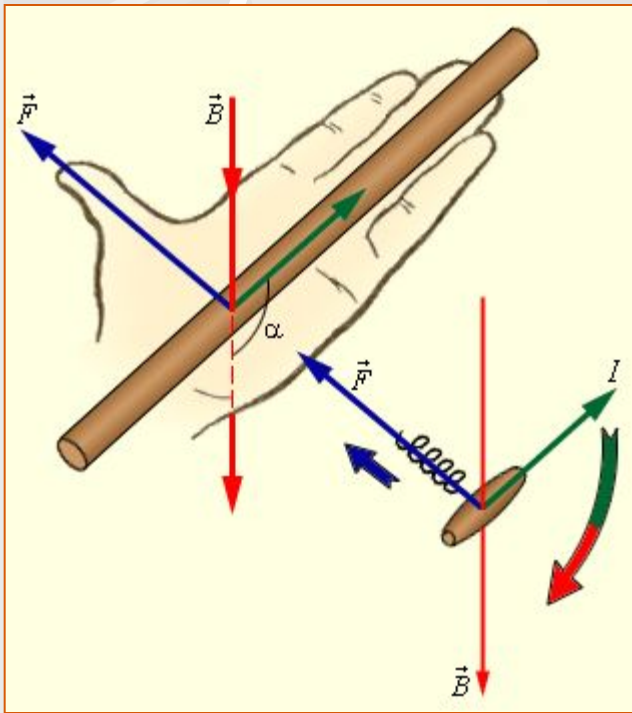
Сила Ампера максимальна при $\sin \alpha = 1$, т.е. $dF_{max} = I B dl$

$$d\vec{F} = I [d\vec{l} \vec{B}]$$

$$dF = B I dl \sin \alpha$$

— закон Ампера

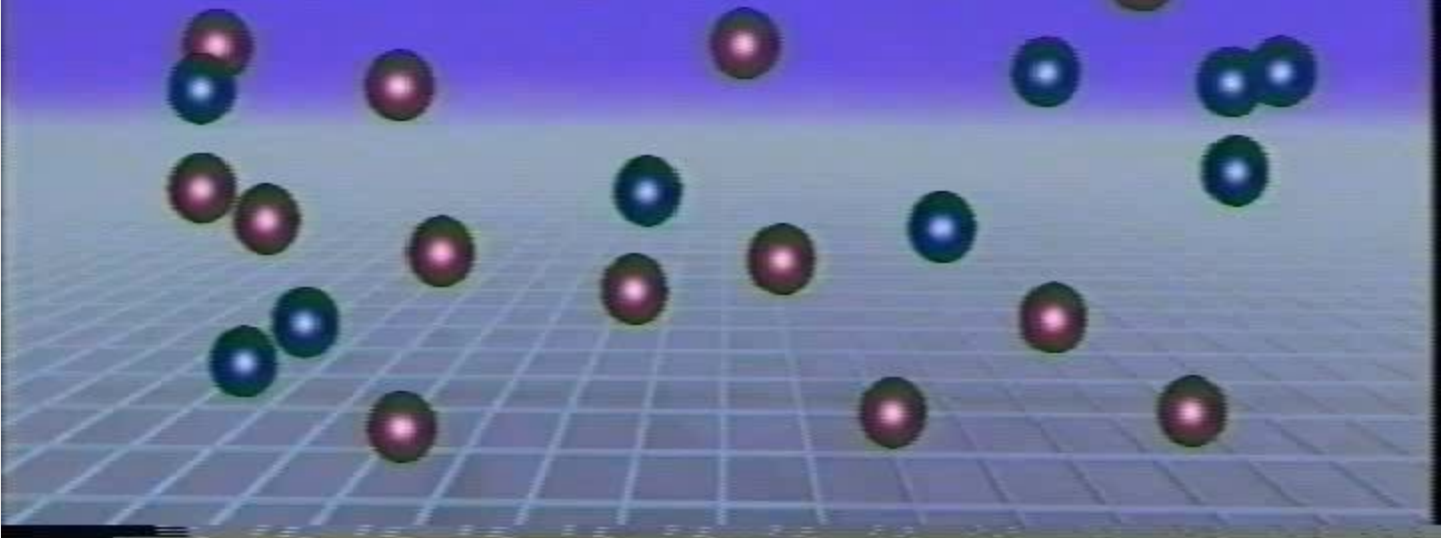
Направление силы Ампера определяют по **правилу левой руки**.



Если левую руку расположить так, чтобы перпендикулярная составляющая вектора магнитной индукции входила в ладонь, а четыре вытянутых пальца показывали направление тока, то отогнутый на 90° большой палец покажет направление силы Ампера.

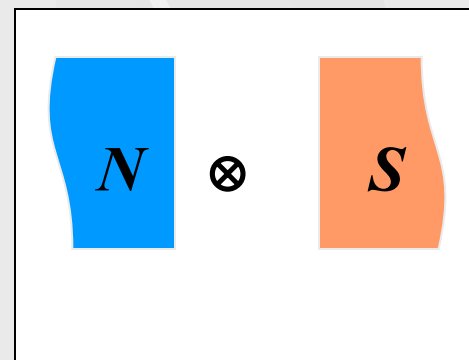
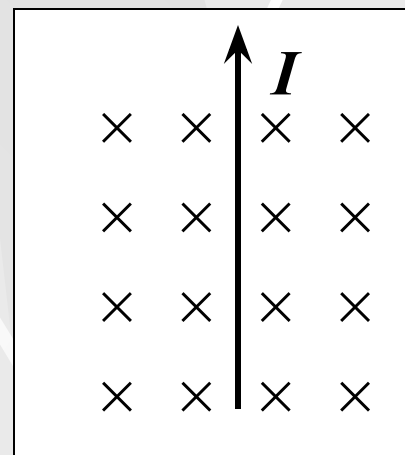
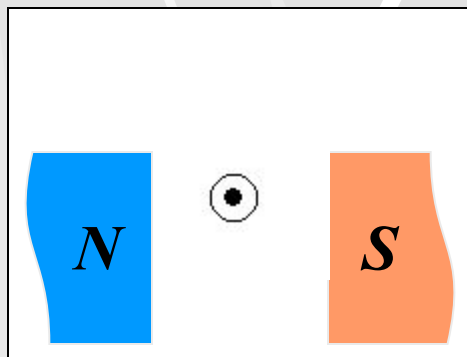
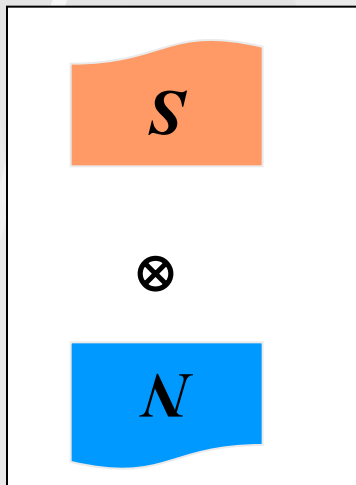
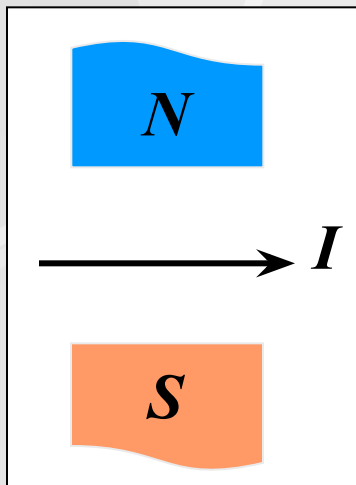


ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО
ПОЛЯ НА
ПРОВОДНИК С ТОКОМ
12

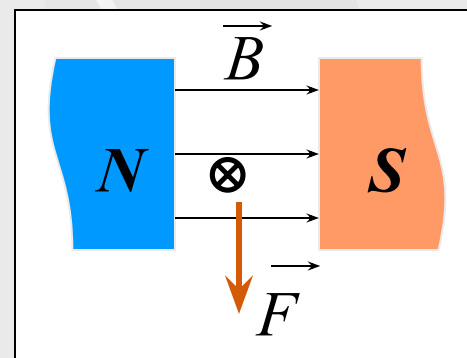
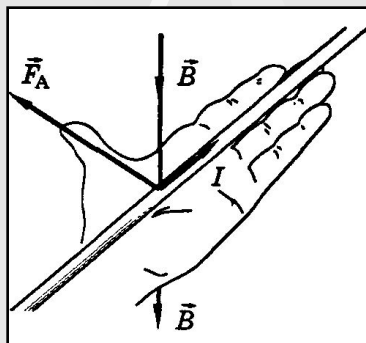
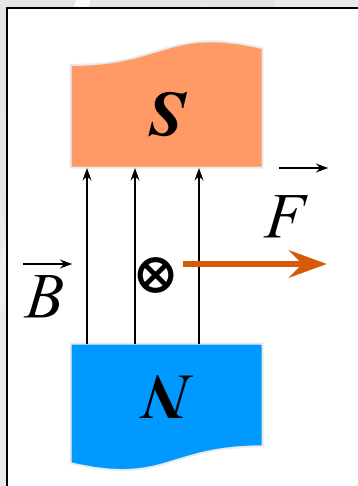
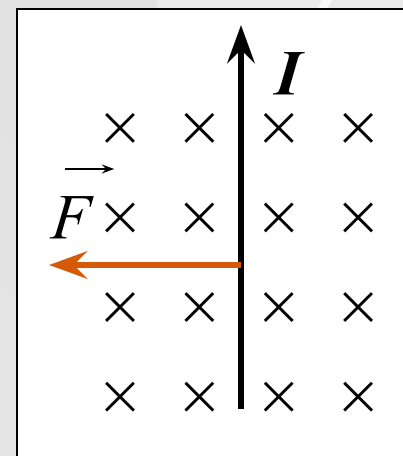
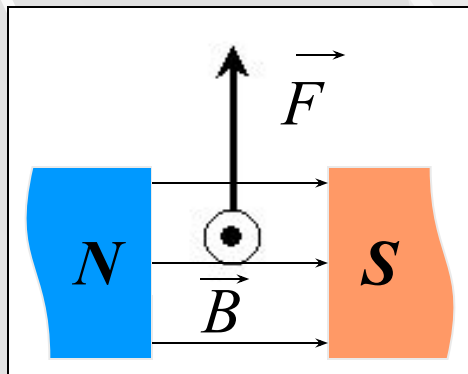
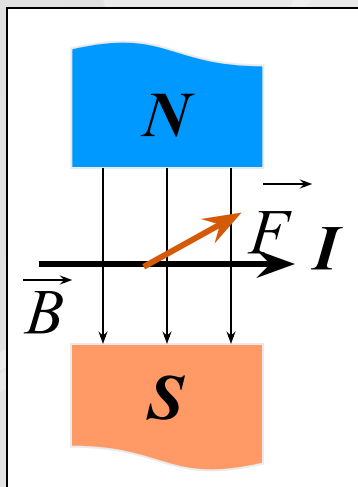


Задание

Пользуясь правилом левой руки, определите направления силы Ампера в следующих случаях:



Решение



На элемент тока $I dl$ в магнитном поле с индукцией B действует сила Ампера

$$d\vec{F} = I [d\vec{l} \vec{B}] \quad [1]$$

Появление этой силы связано с действием силы со стороны магнитного поля на носители тока в проводнике. Покажем это.

Пусть заряд носителя тока q , скорость его направленного движения v , концентрация n , тогда

$$I = \frac{dQ}{dt} = \frac{qdN}{dt} = \frac{qndV}{dt} = qnS \frac{dl}{dt} = qnSv, \quad [2]$$

где $dQ = qdN$ — заряд в объеме проводника $dV = Sdl$;

$ndV = dN$ — число носителей тока в проводнике длиной dl .

\vec{dl} направлен по току и совпадает со скоростью положительных зарядов.

Сила действующая на один заряд (**сила Лоренца**):

$$\vec{F}_L = \frac{dF}{dN}$$

Учитывая [1] и [2], получим:

$$\vec{F}_L = \frac{dF}{dN} = \frac{qnSv \left[\vec{dl} B \right]}{ndV} = \frac{qnSv \left[\vec{dl} B \right]}{nSdl} = q \left[\vec{v} B \right] \quad [3]$$

Ее модуль равен $F_L = qvB \sin \alpha$

α — угол между векторами \vec{v} и \vec{B} .

Из [3] следует: *Магнитное поле действует только на движущиеся в нем заряженные частицы.*

При наличии электрического поля сила Лоренца равна

$$\vec{F}_L = q\vec{E} + q[\vec{v}\vec{B}] \quad \text{— формула Лоренца}$$

Направление силы Лоренца определяют по правилу левой руки

